

|   |      |       |       |
|---|------|-------|-------|
| 5 | 2,22 | 0,321 | 13,20 |
| 6 | 3,06 | 0,442 | 19,29 |

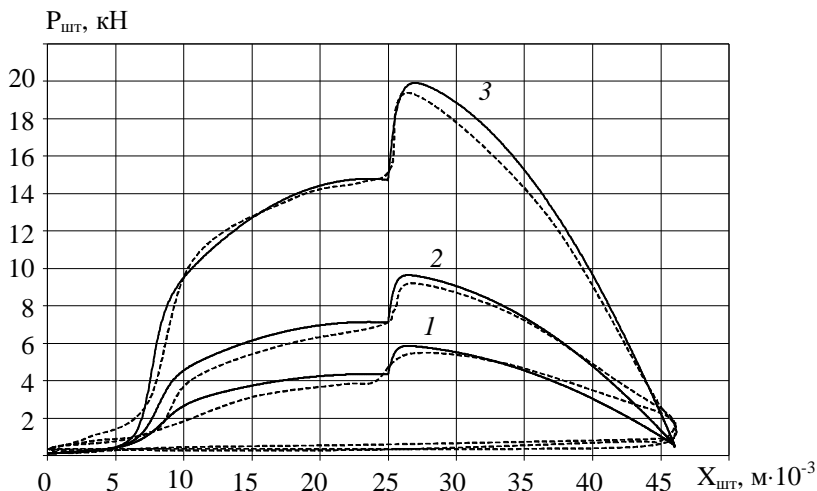


Рис.4. Сравнение экспериментальных и расчетных характеристик ГБ:  
1 – 2-я передача трансмиссии стенда; 2 – 4-я передача; 3 – 6-я передача  
(сплошная – расчетная кривая; пунктир – экспериментальная кривая)

Обращает на себя внимание более пологий характер экспериментальных кривых в месте перекрытия дросселирующих отверстий. Это связано с принятыми в математической модели допущениями, а именно, с тем, что переходные процессы в этом положении штока не учитываются. Тем не менее, с ростом скоростей штока время переходного процесса уменьшается, и расчетная характеристика приближается к экспериментальной.

В результате эксперимента можно сделать вывод, что математическая модель с достаточной степенью точности описывает работу ГБ со ступенчатой характеристикой, при этом погрешность составила не более 8,4%.

**Список литературы:** 1. Обзоров В.С., Стамбровский А.С., Шадов Б.Н. Развитие систем поддрессирования танков // Зарубежное военное обозрение. –1984. –№5. –С.54-62. 2. Отраслевой стандарт ОСТ 37.001.084-84. Амортизаторы гидравлические телескопические автомобильные. Методы стендовых испытаний. – М.: Министерство автомобильной промышленности, 1984. –8 с.

Поступила в редколлегию 23.11.05

## **К ВОПРОСУ О ПРОВЕДЕНИИ МНОГОВАРИАНТНОГО ДИНАМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ПОВЕДЕНИЯ ПОДВЕСКИ ЛБМ ПРИ СТРЕЛЬБЕ**

Розв'язана задача розробки методики багатоваріантного аналізу динамічного стану підвіски БТР-80 при проведенні модернізації шляхом встановлення більш потужних модулів озброєння. Вибрані раціональні параметри варіювання для вирішення вказаної задачі. Використаний багатопараметричний підхід до моделювання досліджуваної конструкції.

The methods of multiple state dynamic analysis of the BTR-80 suspension during conducting of modernization by establishment of more powerful armament modules are developed. Efficient parameters for varying for the decision of the indicated task are chosen. The multiple parameter approach for modelling a researched design is used.

**Введение.** Легкобронированные машины (ЛБМ) сейчас есть практически в каждой воинской части Украины, на территории стран СНГ и за их пределами. Поддержание возможностей ЛБМ на современном техническом уровне требует как минимум их модернизации.

Одним из направлений усовершенствования является повышение огневой мощи, путем установки более современного боевого модуля [1]. ЛБМ представляют собой хорошую базу для установки разнообразного вооружения: миномётов, зенитно-ракетных комплексов, огнемётных установок и т.п. [2]. Однако, установка нового боевого модуля влечёт за собой необходимость исследования динамического поведения подвески, что и представляет актуальность данной задачи в современных условиях.

**Постановка задачи.** Предлагается использовать обобщенный параметрический подход к моделированию исследуемого объекта и проведения многовариантных расчётов [3, 4], предусматривающий задание всех используемых величин в качестве параметров (геометрия модели, характеристики подвески, характеристики боевого модуля – отдача, вес, длительность выстрела, темп стрельбы и т.д.).

Преимущества предлагаемого подхода состоят в универсальности и глобальности описания модели, что позволяет реализовать различные модификации образца варьированием параметров. Таким образом, предлагается создать модель определенного класса машин с универсальным боевым модулем и на ее основе промоделировать возможные последствия модернизации.

**Методика решения.** Уравнения движения системы тел (уравнения Эйлера-Лагранжа)

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T}{\partial \dot{\Phi}} \right) - \frac{\partial T}{\partial q} + \left( \frac{\partial \Phi}{\partial q} \right)^T l = F \quad (1)$$

и уравнения связей, записанные в форме алгебраических соотношений вида

$$\Phi(q, t) = 0, \quad (2)$$

представляют собой традиционный подход при анализе механических систем. В уравнениях (1) – (2) применяются следующие обозначения:  $T$  – суммарная кинетическая энергия;  $\Phi$  – вектор связей;  $F$  – вектор обобщенных приложенных сил;  $I$  – вектор множителей Лагранжа (силы реакции в связях);  $t$  – независимая переменная времени;  $q$  – вектор обобщенных координат

Систему уравнений (1)-(2) можно представить в программных кодах. Численное интегрирование уравнений, выведенных из формулировки Лагранжа (1), позволит описать движение самых различных механических систем [5]. Дифференциальные уравнения в системе (1) можно свести к уравнениям 1-го порядка путем стандартной подстановки новых зависимых переменных вместо каждой производной высшего порядка.

Используемые методики решения задач динамики основаны на прямом решении системы дифференциальных уравнений. Анализ последних работ [6, 7] показал, что основная трудность заключается в корректном составлении этой системы и сложности ее дальнейшего решения. Причем любое изменение физической модели, элементов подвески, параметров корпуса и др. повлечет за собой перестройку всей системы.

Методика проведения многовариантных расчётов:

- Построение твердотельной параметрической модели в одном из CAD (computer-aided design) пакетов (Pro/ENGINEER, Solid Works).
- Передача модели из CAD в CAE пакет и преобразование геометрической модели в физическую.
- Расчет в одном из CAE (computer-aided engineering) пакетов, (Visual-Nastran Desktop 4D, Cosmos Motion, ADAMS), где задаются необходимые кинематические, упругие, демпфирующие связи, силовые факторы и пр.

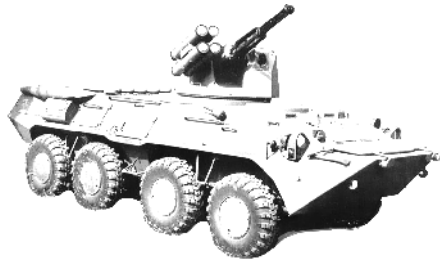


Рис. 1. БТР-80 с ракетно-пушечным модулем “Кливер”

Предлагаемая методика демонстрируется на примере машины специального назначения БТР-80 (рис. 1). Твердотельная геометрическая модель исследуемого объекта строится с достаточной степенью достоверности с точки зрения ее массово-инерционных характеристик (рис. 2).

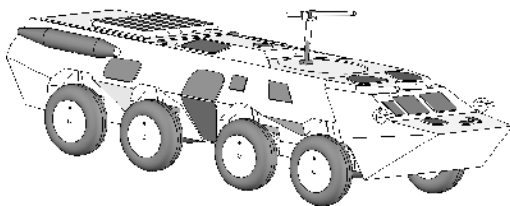


Рис. 2. Твёрдотельная модель

Модель узла подвески построена схематически с точностью, адекватной данному виду расчёта. Далее геометрическая модель преобразуется в физическую: всем элементам сборочной модели присваиваются массово-инерционные характеристики, добавляются кинематические и упруго-демпфирующие связи (упругие свойства торсионного вала моделировались торсионными пружинами, упруго-демпфирующие свойства амортизаторов – соответственно линейными пружинами и демпферами (рис 3, 4) ).

В качестве боевого модуля предлагается использовать универсальную параметрическую модель со схемой, изображенной на рис. 5. На рис. 6 приведена физическая модель всех узлов подвески.

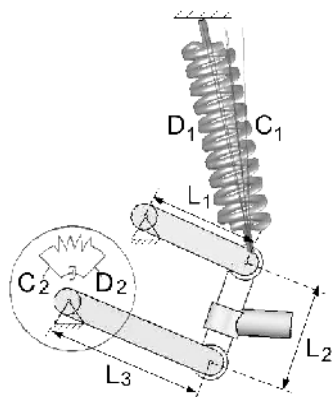


Рис. 3. Схема узла подвески

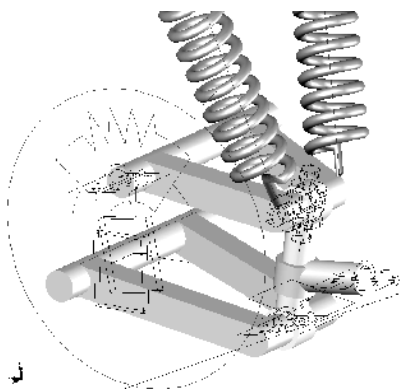


Рис. 4. Модель узла подвески

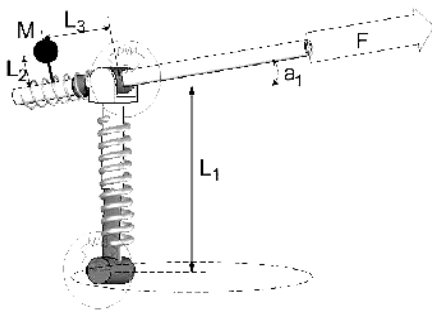


Рис. 5. Схема боевого модуля

Выстрел моделируется сосредоточенной импульсной нагрузкой, при-

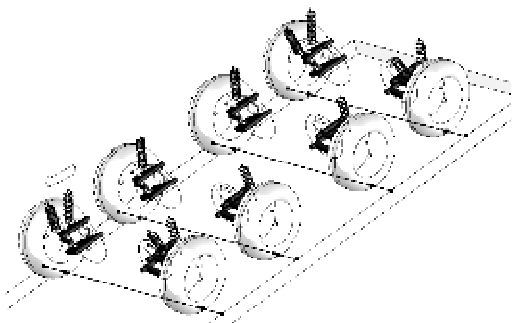


Рис. 6. Моделирование взаимодействия колес с землей

кладываемой в некоторый момент времени, либо серией импульсов для моделирования стрельбы очередью (рис. 7). Величина прикладываемой силы, направление стрельбы и количество выстрелов также являются величинами параметрическими.

В статье использованы пробные значения усилий, действующих на боевой модуль при стрельбе, а также вероятные характеристики скорострельности пушек [8].

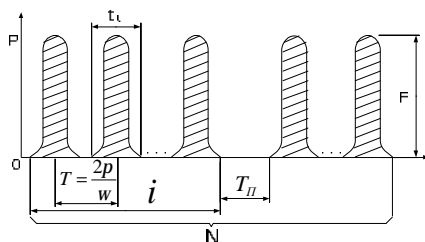


Рис. 7. График усилий отдачи при стрельбе

**Результаты численных экспериментов.** В качестве результатов тестового расчёта покажем несколько графиков (см. рис. 8-11) полученных характеристик корпуса и подвески при некоторых параметрах подвески.

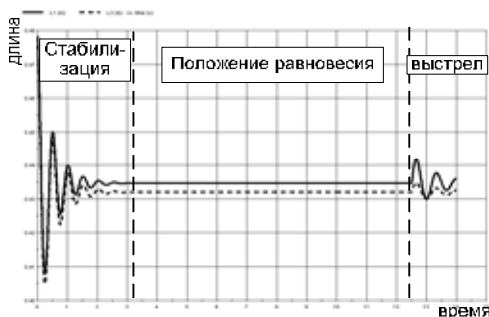


Рис. 8. График удлинения амортизаторов (пунктир – на 1-м мосте; сплошная линия – на 2-м мосте)

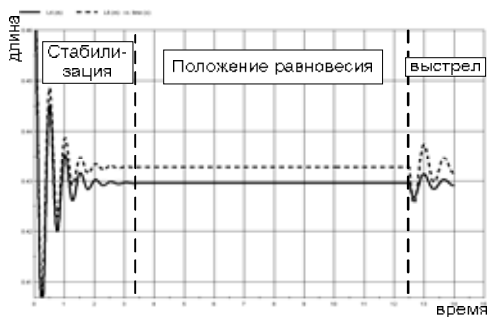


Рис. 9. График удлинения амортизаторов  
(пунктир - на 3-м мосте; сплошная линия - на 4-м мосте)

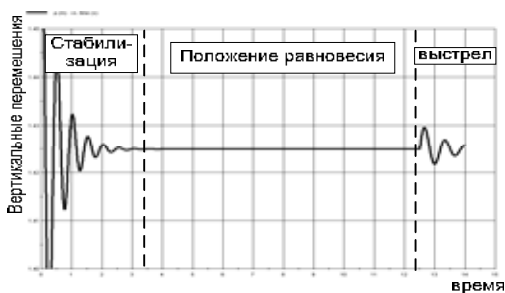


Рис. 10. График перемещений контрольной точки башни

Качественный вид изменения длины амортизатора 4-го моста при стрельбе с различным ее темпом приведен на рис. 12 – 15. Расчёт начинается с момента достижения положения равновесия машины.



Рис. 11. График ускорений контрольной точки башни

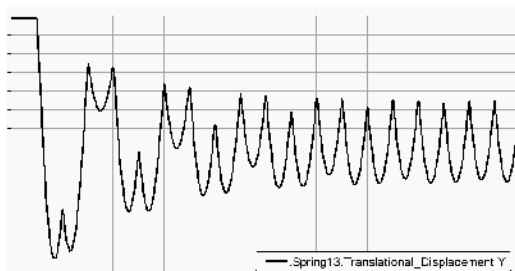


Рис. 12. Качественный вид изменения длины амортизатора 4-го моста при стрельбе со скоростью 240 выстр./мин

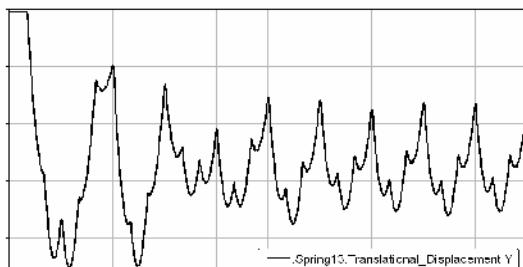


Рис. 13. Качественный вид изменения длины амортизатора 4-го моста при стрельбе со скоростью 360 выстр./мин

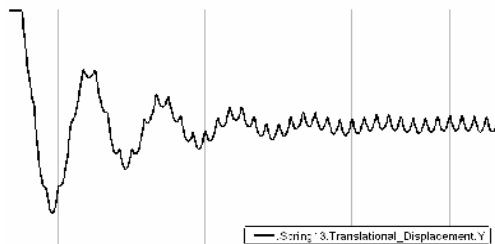


Рис. 14. Качественный вид изменения длины амортизатора 4-го моста при стрельбе со скоростью 480 выстр./мин

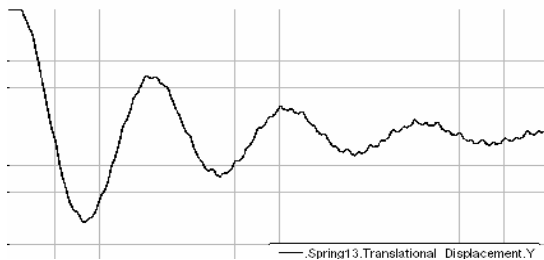


Рис. 15. Качественный вид изменения длины амортизатора 4-го моста при стрельбе со скоростью 960 выстр./мин

После проведения серии расчётов с одиночным выстрелом были построены графики качественных зависимостей перемещений, ускорений, удлинений амортизаторов и угла закрутки торсионов при изменении жесткостно-демпфирующих параметров торсионного вала (см. рис. 16 – 17).

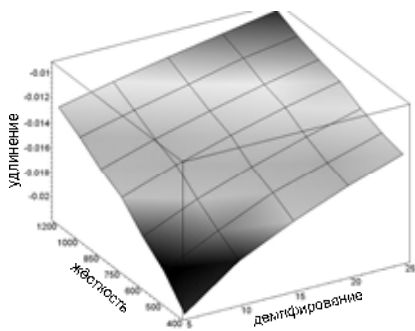


Рис. 16. Качественный вид поверхности удлинений амортизаторов на 1-м мосте

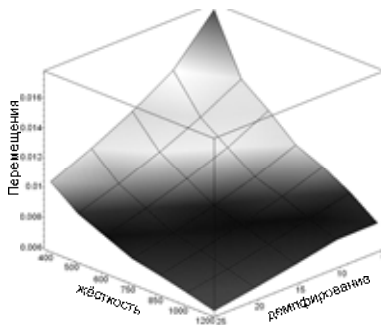


Рис. 17. Качественный вид поверхности вертикальных перемещений в контрольной точке на башне

**Выводы.** В статье была предложена методика проведения многовариантных расчётов динамического поведения подвески колёсной техники при воздействии одиночного выстрела и серии выстрелов. Методика основана на обобщенном параметрическом подходе к моделированию динамического процесса. Представленную методику можно применить не только для модернизации уже существующей техники, но и при создании новой.

Результаты, полученные для одиночного выстрела, можно использовать для выбора оптимальных характеристик подвески, а результаты, полученные при стрельбе очередью – для согласования характеристик подвески с характеристиками устанавливаемого боевого модуля.

В дальнейшем предложенный подход планируется реализовать в виде специальных программных модулей для решения практических задач, возникающих в процессе проектирования и модернизации легкобронированных машин.

**Список литературы:** 1.. Васильев А.Ю., Малакей А.Н., Пелешко Е.В., Шаталов О.Е. К вопросу интегрированных систем анализа динамических процессов в корпусах транспортных средств специального назначения // *Механіка та машинобудування*. – 2004. – №1. – С.51–60. 2. Большаков А.К., Емельянов В.В., Фесенко А.Ф., Семененко Н.В. О выборе и использовании бронетанковой техники в качестве базы под подвижные вооружения и военную технику // *Механіка та машинобудування*. – 2004. – №1. – С.94–98. 3. Веретельник Ю.В., Миргородский Ю.Я., Пелешко Е.В., Ткачук Н.А. Параметрические модели элементов сложных систем как основа построения специализированных расчетных систем // *Механіка та машинобудування*. – 2003. – №2. – С.3–7. 4. Пелешко Е.В. Применение обобщенно-параметрического подхода к анализу корпусов транспортных средств специального



назначения // Механіка та машинобудування. – 2005. – №1. – С.83–87. 5. Яблонский А.А. Курс теоретической механики. Часть 2. – М.: Высшая школа, – 1966. – 411 с. 6. Дуценко В.В., Якименко И.И. Математическое моделирование колебаний поддрессоренного корпуса многоопорной колёсной машины по критериям „простота-адекватность” // Механіка і машинобудування. – 2004. – №2. – С.139-147. 7. Грунѳ С.Г., Багарсуков С.И., Мормило Я.М. Расчѳтно-экспериментальная оценка системы поддрессирования колѳсных машин с подвеской типа БТР-70 // Механіка і машинобудування. – 2004. – №2. – С.128-133. 8. <http://morozov.com.ua>.

*Поступила в редакцию 12.11.2005*

УДК 539.3:623.438

**Г.Д.ГРИЦЕНКО**, ГП “Завод им. Малышева”

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРА РЕАКЦИИ ДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ НА ИМПУЛЬСНОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ПРИМЕРЕ КОРПУСА БРОНЕТРАНСПОРТЕРА**

У статті запропонована математична модель для дослідження напружено-деформованого стану синтезу корпусів легкоброньованих машин, що піддаються дії зусиль стрільби. Розроблена математична модель містить опис всіх аспектів досліджуваних динамічних процесів, всіх якісних і кількісних особливостей самої досліджуваної динамічної системи, а також, при її подальшому розвитку, методи її оптимізаційного проектування.

In the article a mathematical model is offered for research of the stressedly-deformed state of synthesis of lightweight vehicles hulls, which are subjected to exertion of firing. The developed mathematical model contains description of all aspects of explored dynamic processes, all qualitative and quantitative features of the explored dynamic system, and also, at its further development, methods of its optimization design.

**Введение.** В настоящее время особую актуальность приобретает задача модернизации легкобронированных боевых машин (ЛБМ). Это требует, в свою очередь, моделирования напряженно-деформированного состояния (НДС) корпусов ЛБМ при действии различных нагрузок [1, 2].

Разработка математического аппарата для моделирования НДС корпусных элементов легкобронированных боевых машин не исчерпывает задачу анализа прочностных и жесткостных характеристик. Проблема заключается в том, что, как правило, аналитическое решение получаемой начально-краевой задачи возможно только для ограниченного числа областей сравнительно простой формы. Для корпусов боевых машин, имеющих чрезвычайно сложную структуру и состоящих из большого количества панелей разной толщины и формы, элементов усиления, вырезов, люков и т.д., применимы только численные методы решения. Из всех их разнообразия наиболее мощным и приспособленным для такого класса конструкций является метод конечных элементов (МКЭ) [3-5]